

情報科教育で扱うべき問題解決活動の明確化と 授業・教材の設計指針

松田 稔樹

東京工業大学大学院社会理工学研究科
matsuda@et4te.org

要 旨

2009年告示の高等学校学習指導要領は、まだ完全実施に至っていないが、次期改定に向けた準備作業は既に始まっている。これまでに、内容中心からコンピテンシー中心の基準の示し方への移行や、教科横断的な汎用的スキルやメタ認知などの重視、教科固有のものの見方・考え方や処理・表現方法などの明確化と指導要領への明示などの方向性が議論されている。もともと、情報活用能力や問題解決能力の育成に主眼を置いてきた共通教科「情報」では、既に、このような考え方を先取りしているとも言える。しかし、機器操作の指導に重点が置かれ、これらの能力の育成が十分にできていないとの課題も指摘されている。本稿では、筆者が各教科向けに検討してきた問題解決力の学習者モデルやそれと対応して開発してきたゲーミング教材設計フレームワークをふまえ、情報科教育の問題点と、改善の方向性を考察する。

キーワード：共通教科「情報」 学習指導要領改訂 問題解決フレームワーク 情報的な見方・考え方

1. はじめに

1998年度と2008～9年にそれぞれ告示された学習指導要領では、「生きる力」の育成を柱として、教育課程の基準が改訂された。この「生きる力」の学力面におけるキーワードが、「自ら課題を見つけ、自ら学び、自ら考え、主体的に判断し、行動し、よりよく問題を解決する資質」である。

「生きる力」を育成するために、教育課程編成上の工夫として新たに導入されたのが、「総合的な学習の時間」である。学習指導要領解説(文部科学省2009)は、そこで行われる探求的な学習が、「課題の設定→情報の収集→整理・分析→まとめ・表現」という問題解決的な活動が発展的に繰り返されるものだと説明している。「課題の設定」を上述の「自ら課題を見つけ」に対応づけ、同様に、「情報の収集」を「自ら学び」に、「自ら考え」を「整理・分析」に、「主体的に判断し、行動し」を「まとめ・表現」にそれぞれ対応づけられ、「問題解決」は、これら全体を総括した資質と解釈される。

「問題解決」は共通教科「情報」のキーワードの1つでもある。情報教育の目標である情報活用能力のうち、特に、情報活用の実践力は、上の「情報の収集→整理・分析→まとめ・表現」と密接に関連した定義となっている。一方、高等学校学習指導要領解説：情報編では、問題解決の過程を「問題発見・明確化→分析→解決策の検討→実践→評価」と捉えている。情報活

用の実践力は、既存教科で育成することが期待されているから、両者は異なっているようにも思えるが、共通教科「情報」が既存教科における情報教育のベースとなるものであるためには、両者の関係を明確にしておく必要がある。

ところで、文部科学省は、次の学習指導要領改訂に向けた準備として立ち上げた「育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会(2014)の中間報告的位置づけにある論点整理で、諸外国での潮流を参考に、内容中心からコンピテンシー中心の基準の示し方への移行や、教科に依存しない汎用的スキルやメタ認知などの重視、教科固有のものの見方・考え方や処理・表現方法などの明確化と指導要領への明示などの方向性を議論している。また、指導と評価の一体化という観点から、真正な文脈におけるパフォーマンス評価重視の方向性についても議論している。

この議論の中でも、問題解決力は重要な資質・能力に位置づけられており、その背景には、諸外国における21世紀型スキル／コンピテンシーの議論がある。この議論では、いわゆるPISA型学力として、PISA2012で評価された問題解決能力が注目を集めている。しかし、公表されている問題(国立教育政策研究所2014)は、見方によっては数学的な問題のようにも、パズルやクイズを解く能力を測っているようにも、また、知能検査の問題のようにも見える。

数学教育では以前から問題解決能力が重視されているが、そこで注目されている能力は、結局のところ、

特定の正解の存在を前提とした問題である。高校数学に新たに導入された課題学習でも、学習指導要領解説や教科書に掲載されている多くの問題は、この種のものである。これに対して、特定の正解が無い問題とは、目標関数や制約条件、問題を構成する変数の相互関係に解釈の任意性や複数の可能性(曖昧さ)があるものを指す。この違いは、問題解決のプロセスにおいて、問題の定式化をどれ程重視するかということと関係してくる。身近な問題解決では、自分で妥当性の高い定式化をすることが求められる。一人一人が異なる定式化をする余地が残されており、それ故、導いた結論の良し悪しについては、処理の妥当性以前に、定式化の妥当性という観点から考察することが求められる。

テストと身近な問題解決とでは、問題解決に役立つさまざまなツールや情報源を活用してよいか否かという点において、重大な条件の違いがある。結果的に、テストでは、問題解決力よりも知識の量が問われていることになり、身近な問題解決では、思考力・判断力や情報活用能力が問われることになるだろう。この後

者の能力の育成を最も重視している教科が、高校の共通教科「情報」であり、そのベースとなる教科として、中学校「技術・家庭科」技術分野の「情報に関する技術」がある。

ここまでの議論で明らかになってきたように、問題解決力を育成するには、身につけるべき能力に着目した指導内容・方法が必要であり、学問的な領域固有知識の体系のみに着目した教育は不適切である。しかし、身につけるべき能力に着目した指導が、単なる「〇〇能力を育成するための、〇〇活動の充実(〇〇には、例えば「言語」が入る)」にとどまっている限り、その成果は期待できない。教科「情報」における指導も、情報活用能力を育成するために、情報の収集・処理・発信活動を充実するだけであつたり、問題解決能力を育成するために問題解決活動を充実するだけであつたりしないか、批判的に検討することが必要である。

以上の問題意識から、松田(2013a)は、Bruer(1993)による、「領域固有の知識、メタ認知技能、および汎用的方略が人間の知能と熟達した活動の全要素である」との指摘に対応づけ、領域固有知識、教科の見

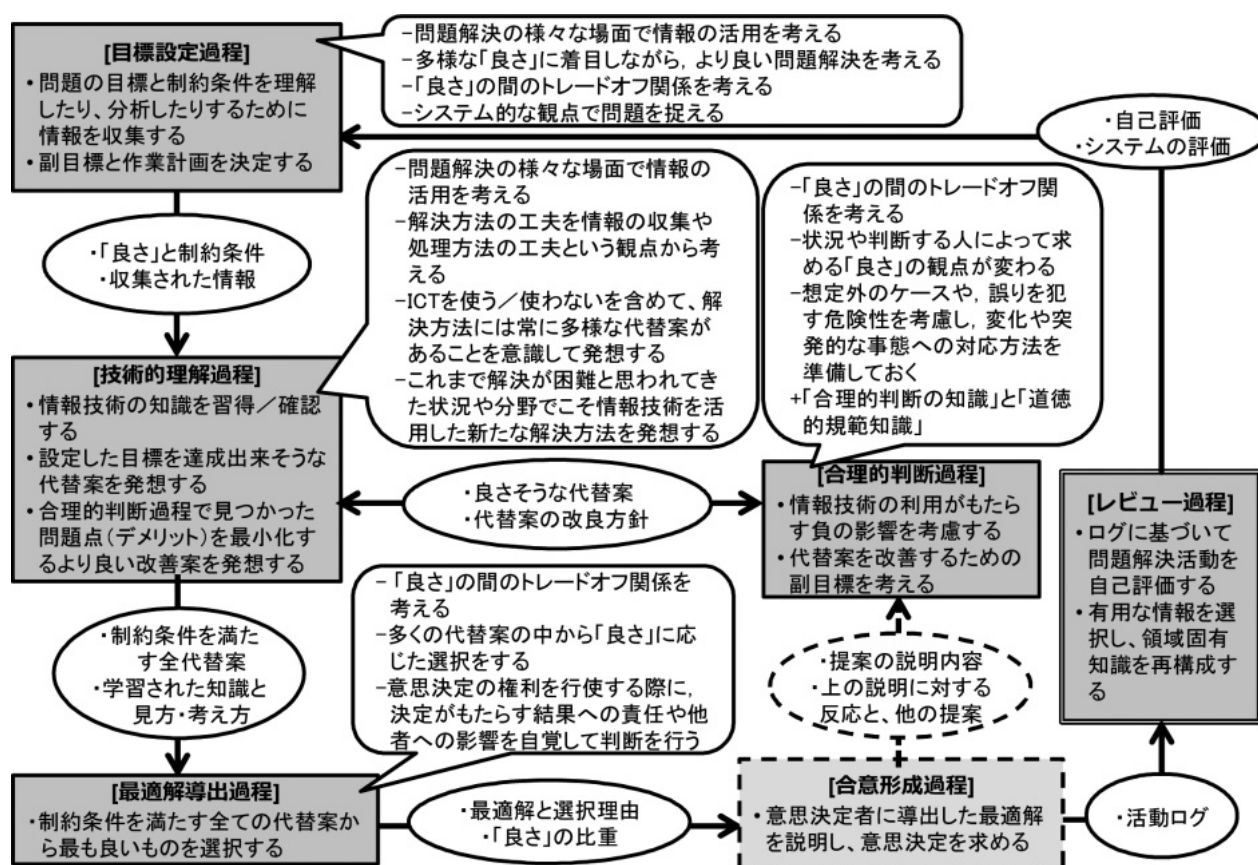


図1 松田(2013b)の情報科教育用ゲーミング教材設計フレームワーク

※各過程で活用すべき「情報的な見方・考え方」や「3種の知識」を吹き出しの中に示している

※楕円の中に示したものは、各過程で学習者の活動を評価し、ゲームの動作を制御する内部変数に保存されるパラメタ値である

方・考え方、問題解決スクリプトを相互に関連づけて適切に学ぶことを教科学習の目標と捉えた学習者モデルを定義している。そして、当該研究グループでは、このモデルと対応づけた指導法として、図1(松田2013b)に示すような教材設計フレームワークを数学、理科、情報などの教科で開発している。

図1の流れは、システムズアプローチにおける「問題分析+目標設定→代替案の発想→代替案の評価+選択」や、ITEA(2007)の技術教育スタンダードで求めている「設計過程=問題の同定と定義→多様な解決策の発想→モデル化・テスト・再評価→決定」に対応する。また、合理的判断過程は、情報技術を効果的に活用する枠組みに、玉田・松田(2004)の「3種の知識」による情報モラル判断過程を統合したものであり、問題解決における発散的思考と収束的思考とを統合したものとも言える。

2. 目的

本稿では、本研究グループが開発してきた各教科の教材やその設計フレームワークを比較しながら、問題解決力育成に関する各教科の役割の違いを考察する。また、それをふまえて、情報科教育および情報教育について過去に指摘されてきたさまざまな課題や誤解の原因を考察する。その上で、今後の情報科教育の改善の方向性を考察する。

3. 各教科の「問題解決」の共通点と相違点

3.1 情報科の問題解決をベースとした共通化

図1のフレームワークの原型は、情報科教育用に開発した平林・松田(2012)のフレームワークである。これは、情報の科学的な理解と情報社会に参画する態度とを、あるいは、情報技術の有効活用と課題克服とを考慮させるために、松田(2003)の「情報的な見方・考え方」と、玉田・松田(2004)の「3種の知識に基づく情報モラル判断」の枠組みとを統合したものである。その後、図1になるまでの過程で、甲藤ほか(2013)の科学技術コミュニケーション用に追加した「合意形成過程」が導入され、さらに、吹き出しに示されている情報的な見方・考え方の各項目の配置が適切かどうかの見直しがされた。

数学・理科用のフレームワークは、高等学校で必修になっている課題学習と探求活動を対象にしている。ただし、前述した学習指導要領解説や教科書に掲載されている事例とは全く異なり、数学では「高卒就職と大学院卒就職とどちらが得か?」(伊東・松田2013)

「数学が結構考える」
下の図は、「仕事」を別の見方でとらえ、それに対する情報源を書き出したものです。
[定性的な側面を定量化するための図の説明]
「得」というところで、仕事で有利な定量化したい事項を入れます。
次に、「別の見方に交換」のところで、仕事で不利から思いつくことを書き出します。
さらに、「別の見方に交換」で書き出したことに関する情報(データ)を探すために、どのような情報源を得ることができるかを「情報源」のスペースに書き出します。

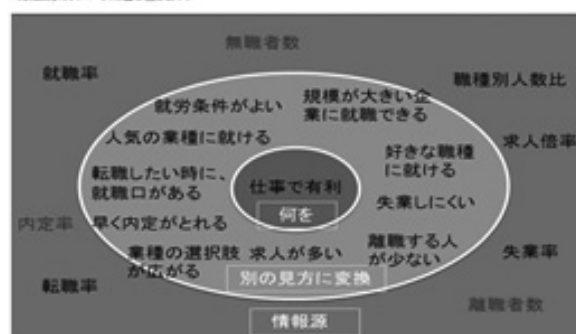


図2 数学的定式化を支援するための発想図式

や「文化祭でバザーを円滑に進める計画を立てよう!」(Matsuda & Ito 2014)を、理科では「○○(地域名)に着目して地震について考えよう」(田口・松田2013)を題材としている。いずれも、身近な生活に関わる問題解決を扱っており、あえて問題を曖昧な形で提示して多様な定式化や代替案選択の可能性がある(特定の正解が存在しない)問題を扱うフレームワークとしている。

これらの教材では、問題の定式化を図る際に、数学や科学の見方・考え方を活用して、問題をさまざまな視点から「変換」して見ることを支援する。そのために提示するのが、図2の図式である。身近な問題を数学的に定式化するには、まず、現実世界の中で当該の問題をさまざまな「変換」してみることが大事である。「高卒就職と大学院卒就職とどちらが得か?」であれば、何をもち「得」と考えるのか、いわば「得」に対応するさまざまな価値観を列挙させる。これは、情報的な見方・考え方の「多様な良さに着目する」にも対応する。

「得」を数学的に扱うには、定量的に扱える形に変換する必要がある。当該の教材では、「収入が多い」という視点や、「仕事に有利」という視点でさらに問題分析をさせる。「収入が多い」に対しては、収入を比較するための定量的なデータ(本当ならば自分で探すが、教材の中では見つかったことにする)に結びつけ、計算させる。そして、見つかったデータがある年齢幅の収入データしか無かった場合を想定し、それ以外の年齢幅のデータは、関数を当てはめて外挿するという方法を体験させる。この一連の過程では、特殊化(「得」を特定の価値観に変換する)や、定量化(数値データで考える)、関数的な見方・考え方(外挿のために得られたデータに関数を当てはめる)、類推(収入についての考察で用いた方法を「仕事で有利」の場合に

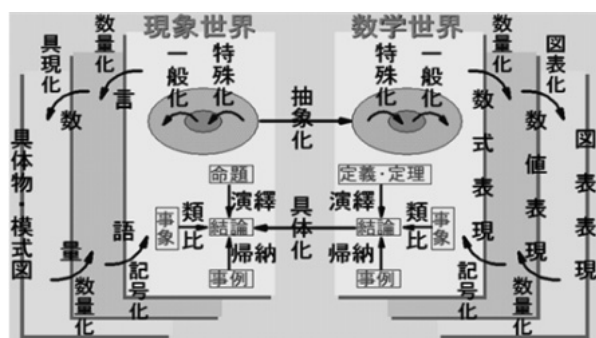


図3 松田 (1993) の数学的な見方・考え方

当てはめる)などの数学的な見方・考え方(図3)を明示的に説明し、活用させる。

このような教材を用いて実際の生徒を対象に複数回の授業実践を行ったが、事前調査で「これを数学的に解くのは難しいと思う」と回答した生徒が70%程度だった。事後調査では、そのうちの80%が「関数は、身近な現象を説明するために有効であることがわかった」と回答した。また、授業前後のいずれでも、「(これが解決できるなら)数学は身近な問題解決に役立つ」と思う生徒が80%以上を占めた。

数学の教材でも、理科の教材でも、本研究室で開発している教材で重視しているのは、情報的な見方・考え方に則して「問題解決のさまざまな場面で情報の活用を考える」ことである。例えば、理科の探究活動では、自分で観察・実験の計画を立て、データ収集することを重視しがちである。しかし、身近な生活の中で、一度しか使わない器具を購入したり、高価な実験装置を使ってデータを自分で収集することは考えにくい。それ自体、学習成果が身近な生活に役立たないと思わせる原因になる。本研究グループで開発している教材では、むしろ、誰かが収集し公開しているデータを活用することを重視する。ただし、データの信頼性を評価するには、仮説を立て、実験条件を検討し、どのようなデータをとる必要があるかは考える必要がある。このように、探求活動では、「情報活用能力」と「科学的な見方・考え方」とを統合的に活用することが必要になる。我々の探求活動のフレームワークが、情報科のフレームワークをベースにしているのは、以上の理由による。

なお、仮説を立て、必要なデータを収集する以前に、問題理解の過程が必要になるが、ここでも問題状況を科学的な概念・用語を使って表現(=変換)することが必要であり、数学「課題学習」と同様に、図2を使った変換を適用するように促す。そこでは、「特殊化」「類推」「演繹」などの見方・考え方も活用することが有益であり、学習者は全ての教科の見方・考え方

を総動員して考えればよい。ただし、教材作成者側としては、作成する教科に応じて、課題選択や対話の中で提示するヒント等の情報を制御して、活用すべき知識や見方・考え方などが、特定の教科のものに焦点化されるよう、工夫することが大事である。

3.2 問題解決過程の縦糸と横糸

先に、「情報の収集→整理・分析→まとめ・表現」という問題解決の流れと、「問題発見・明確化→分析→解決策の検討→実践→評価」という問題解決の流れとの関係を明確にしておく必要があると述べた。ここまでの議論で明らかになってきたように、筆者らのグループで考えている教材は、「問題解決のさまざまな場面で情報の活用を考える」ことを求める。必然的に、各過程に「情報の収集→整理・分析→まとめ・表現」が必要と想定される。

例えば、目標設定過程の最初のタスクは、「問題の目標と制約条件を理解・分析するために情報を収集する」ことである。このタスクが「情報収集」に対応し、次の「副目標と作業計画を決定する」が、「整理・分析→まとめ・表現」に対応すると解釈することもできる。しかし、松田(2003)は、情報科の問題解決では、「多様な良さ」として、解の良さと、解決方法の良さの2つを分けて考えるべきだとしている。ICTを活用する理由は、より良い解決方法をとるためであり、それが多くの場合、忘れられている。筆者らのグループで開発している教材では、タイマー機能を使い、一定時間が経過すると最適解導出過程に強制的に進めたり、問題解決は失敗と判断する。共同で問題解決するという想定の際には、メンバーの都合などを情報収集し、把握していないと、作業上のトラブルが発生するようにする。つまり、実質的には、1つ目のタスクは解の良さを検討するタスク、2つ目のタスクは解決方法の良さを検討するタスクになっており、それぞれのタスクについて、情報の収集からまとめまでの作業が必要になる。

技術的理解過程には、「情報技術の知識を習得/確認する」タスクがあり、ここでも「知識の習得=情報の収集と理解」を必要に応じて行う。ここでの習得は、必ずしも覚えることを意味しておらず、この過程の次のタスクである「代替案の発想」に役立つように既知の知識との関係理解をすることが大事である。もちろん、新たな知識を習得することに時間をかけて期限までに解を導出できなければ問題解決は失敗であるから、既知の知識の範囲で解決するという選択もある。いずれにせよ、この過程の主目的は新たな技術を理解することではないので、過程の名前を「代替案発

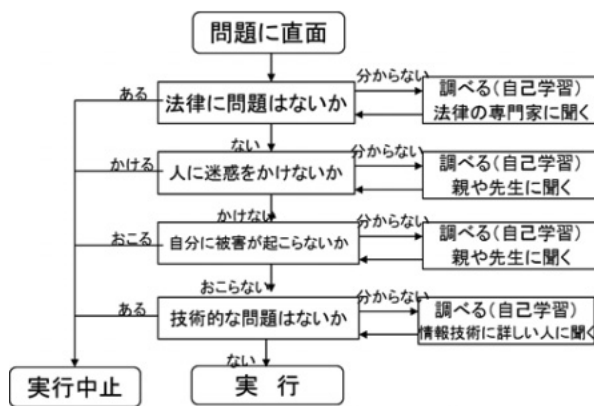


図4 玉田・松田の合理的判断の枠組み

想過程」とするのがより適切であると思われる。

合理的判断過程のタスクには、「情報収集」が明示的に書かれていないが、玉田・松田(2004)の合理的判断の枠組みは、図4のようにになっている。ここでは判断に自信を持っていない場合、自分で調べたり、専門家などに聞いたりするタスクが明示されており、情報収集の必要性が示唆されている。

以上を総括すると、問題解決の過程は、図1のようなシステムズアプローチの手順を縦系とし、各過程における「情報の収集→処理→表現・発信」を横系のよ

うに組み合わせて進めるものと考えられる。その意味では、「情報の収集→処理→表現・発信」をスパイラルに繰り返す形で問題解決は進むと言えるが、各タスクにおける横系の作業目的は異なっており、そのことを明確に意識して作業を前に進めなければ、堂々巡りになる恐れがある。以上のことを意識してまとめたものが図5である。

目標設定過程のタスクは、それぞれ「解」と「解決方法」の「多様な良さ」を明確化することを目的に行う。前者のタスクのアウトプットは評価基準や評価に必要な情報は何かである。後者のタスクのアウトプットは作業計画であり、評価や代替案の発想に必要な情報をいかに集め、処理して、代替案の評価を行うかを計画する。評価基準は、できるだけ定量的なものか、論理的に判断可能な制約条件であることが望ましい。そのためには、数学的な見方・考え方や科学的な見方・考え方の活用が役立つであろうし、図2のような変換の図式を使うことが有効である。

ところで、高橋(1984)は、問題解決の過程で外部知識と内部知識を活用すると述べている。内部知識は、自分の記憶であり、外部知識を収集する時にも、検索キーワードなどとして活用される。技術(工学)的な問題解決は作業の質向上を意図しており、失敗や後

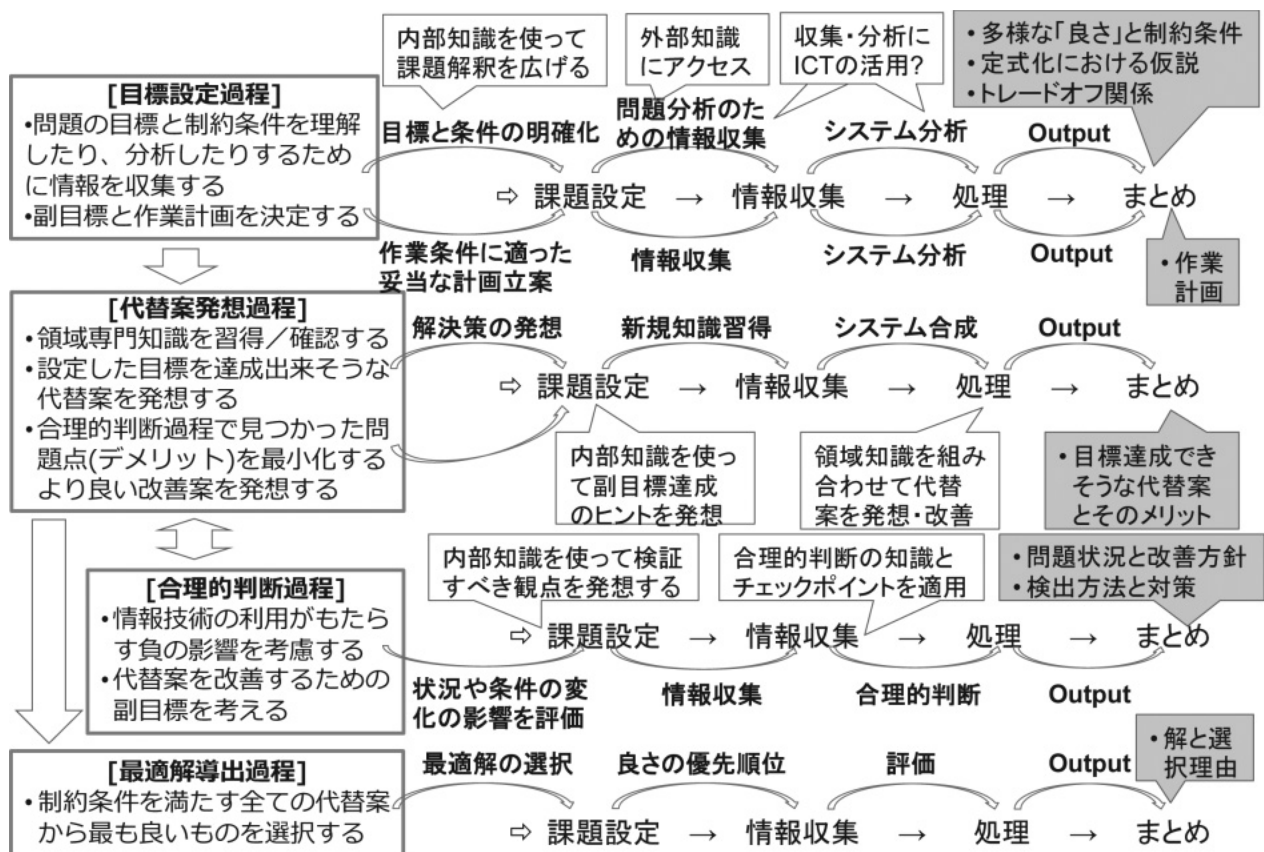


図5 問題解決の縦系と横系の関係

戻りをしないために、フィードバックでできる成果を蓄積することが重要である。そこで役立つ領域固有知識こそが、覚えるべき内部知識となる。例えば、典型的に考慮すべき良さ(あるいは問題点)、定量化の方法、多様な良さの間で必ず考慮すべきトレードオフ関係、トレードオフ関係を解消するのに役立つ代替案の候補に関する知識などは、問題解決の質を高める上で有益である。これを問題領域ごとに整理し、数学の課題学習、理科の探究学習、共通教科情報などの教科別に対応づけて整理し、そこに焦点を当てた学習活動を設計することが重要になる。

4. 「情報科 vs. 各教科の情報教育」の問題解決

情報活用の実践力は、「課題や目的に応じて情報手段を適切に活用することを含めて、必要な情報を主体的に収集・判断・表現・処理・創造し、受け手の状況などを踏まえて発信・伝達できる能力」と定義されている。これを「情報手段を適切に活用すること」と「情報を収集・判断・表現・処理・創造すること」「発信・伝達すること」に分解し、後者のいずれかに焦点を当てた学習活動も情報教育だとする解釈がある。しかし、それは「情報教育に関する手引き」(文部省1991)の序文に書かれた問題意識を無視した時代遅れの考え方である(1)。各教科の基礎・基本として、学習に必要な情報を収集・処理し、発信・議論しながら学びを深めることが必要だが、それは情報教育以前に各教科の本質として取り組むべきものである。ICTの発達は、そのような学習や実践をより効果的、効率的に行う方法を拡大したが、ICTを使うことが常にベターだとは限らない。それ故、ICTを使うべきか否かを判断しながらそれを適切に活用する力を身につける必要があり、情報活用の実践力は、上の文言を一体的に捉えて初めて意味がある。

問題は、各教科における情報教育と、情報科で行うべき情報教育との違いを明確にし、それにふさわしい学習活動を設計、実施することである。情報活用の実践力に焦点を当て、各教科の本質として、「情報の収集・処理・発信」をしながら構成主義的学習観に立って学ぶ活動を行い、その中でICTの適切な活用を学ぶのは、あくまでも既存教科学習の延長上であり、各教科等で行うべきである。そこでは、各教科の領域固有知識を学び、活用することに主眼があり、ICTの活用を考えることは主ではなく、従たる位置づけである。

情報科は、各教科における情報教育の範囲では指導できない学習活動を行う必要があり、それによって育

成するコンピテンシーを明確に示す必要がある。この点については、情報科設立時からの理念の通り、情報活用能力の中でも、情報の科学的な理解と情報社会に参画する態度の育成に重点を置くことが重要である。前述した縦糸の問題解決は、基本的に提案型であり、横糸は調べ学習的である。横糸の問題解決でもICTの活用を考えるが、基本的にICTの新たな知識を学びながらその活用を検討するよりも、既有知識・技能の範囲内で、ICTの活用以外の数学や理科など、各教科で学ぶ方法論を使ってより良い解決を考えることが重視される。つまり、実施する教科に合わせて、その教科の知識や方法が主に活用されるように課題を設定することが大事になる。横糸の活動に限れば、「作業計画の立案」を重視することが情報科教育として重要であり、問題分析に時間をかけないという選択も考慮すべきである。

情報科では、縦糸の活動としてICTの活用に関する課題を扱うことが重要である。この課題を他分野からもってくれば、各教科や総合的な学習の時間における情報教育になってしまう。情報科が情報社会に参画する態度の育成を目指すならば、ICTの活用に関する提案型の問題解決を重視すべきであり、未来の情報社会を創造する力(現行学習指導要領各科目の内容(4))に重点を置いた学習が行われるべきであろう。現行の教科書では、これらの内容の扱いが知識・理解レベルにとどまっており、内容(1)～(3)の比重が高すぎる点が問題であるように思う。(1)～(3)が(4)の準備として生きるような年間指導計画の作成が重要になる。

備 考

(1) 当該序文には、「情報の授受や処理の手段やメカニズムに関する教育は、すべて情報教育だというのは、理論的には成り立つ議論である。ただそういつてしまうと、…<中略>…従来の教育内容のきわめて多くの部分が情報教育にはかならないということになる。そうすると、今新しく情報教育が急務であるとされている問題意識から、焦点がずれてしまう」と述べられている。

謝 辞

本研究の実施にあたり、公益財団法人科学技術融合振興財団(FOST)の助成を受けた。関係者の方々に感謝する次第である。

参考文献

- Bruer, J.T. (1993) *Schools for Thought: A Science of Learning in the Classroom*. The MIT Press.
- 平林翔太・松田稔樹(2012),「情報モラルに配慮して情報技術を効果的に活用する力を育成する情報科教材の開発支援」,『日本教育工学会研究会報告集』, JSET12-1, 7-14.
- 育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会(2014)「育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会－論点整理」, http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2014/04/04/1346335_02.pdf
- ITEA [International Technology Education Association] (2007) *Standard for Technological Literacy* (third edition). ITEA.
- Matsuda, T. & Ito, Y. (2014) Generalizing the Design Framework of Gaming Materials for "Problem-based Learning" in Mathematics through Developing a New Game. *EdMedia 2014*, 2014-1, in printing
- 伊東友里絵・松田稔樹(2013),「課題学習用ICTゲーミング教材の改良と教師教育での活用」,『日本教育工学会研究会報告集』, JSET13-1, 7-14.
- 甲藤義哉・松田稔樹・遠藤信一(2013)「市民が習得すべき科学技術コミュニケーション能力の検討とそれを育成する教材の開発」,『日本教育工学会研究会報告集』, JSET13-2, 93-100
- 国立教育政策研究所(2014),「OECD生徒の学習到達度調査～PISA調査問題例(問題解決能力)」, http://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/pdf/pisa2012_item_ps.pdf
- 松田稔樹(1993),「教授活動モデルに基づく授業改善」, 坂元昂監修・牟田博光編『教育システムの設計と改善』, 第一法規出版, 89-110
- 松田稔樹(2003),「普通教科「情報」で指導すべき「情報的な見方・考え方」」,『東京都高等学校情報教育研究会』, 44-47
- 松田稔樹(2011),「「変換操作」に着目した問題解決策の発想を支援するE-learning教材」,『日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会論文報告集』, 2011年春号, 29-32.
- 松田稔樹(2013a),「数学科教育法向け模擬授業ゲームのための学習者モデルの検討」,『日本教育工学会研究会報告集』, JSET13-2, 101-108.
- 松田稔樹(2013b),「情報科用ゲーム型e-learning教材設計フレームワークの改善～学習者モデルの検討結果に基づき」,『日本教育工学会研究会報告集』, JSET13-4, 57-64.
- 松田稔樹(2014),「問題解決力育成のためのゲーミング教材設計フレームワークー領域固有性と共通性に関する考察」,『日本シミュレーション&ゲーミング学会2014年度春季全国大会報告集』
- 文部科学省(2009),「高等学校学習指導要領解説～総合的な学習の時間編」, http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2010/01/29/1282000_19.pdf
- 文部省(1991) 情報教育に関する手引. ぎょうせい, 東京
- 田口穂高・松田稔樹(2013),「理科「探究活動」の教材開発とその設計フレームワークの提案」,『日本教育工学会研究会報告集』, JSET14-1, 99-106.
- 玉田和恵・松田稔樹(2004),「「3種の知識」による情報モラル指導法の開発」,『日本教育工学雑誌』, 28, 79-88.
- 高橋誠(1984)「問題解決手法の知識」, 日経文庫.